

## [ENGLISH TRANSLATION]

Japanese Laid-open Patent

Laid-open Number:       **Hei 4-307727**  
Laid-open Date:         October 29, 1992  
Application Number:     Hei 3-71714  
Filing Date:            April 4, 1991  
Applicant:              SEIKO EPSON CORPORATION  
                          4-1, Nishi-shinjuku 2-Chome, Shinjuku-ku, Tokyo  
Inventor:               Tsutomu HASHIZUME  
                          C/O SEIKO EPSON CORPORATION  
                          3-5, Owa 3-Chome, Suwa-shi, Nagano

[Title of the Invention]   METHOD OF FORMING A SILICON SEMICONDUCTOR LAYER

[Abstract]                 (Amended)

[Object] To devise a method of irradiating a laser beam to a silicon layer to thereby form a uniform polycrystalline silicon layer on the entire substrate.

[Structure] An amorphous silicon layer with a hydrogen content of 1% or less is formed on a silicon substrate or an insulating substrate, and an excimer laser in which an energy strength distribution is improved to have a rectangular shape is irradiated thereto. A laser beam emitted from a laser source 201, in which an energy strength exhibits a pseudo Gaussian distribution, is improved to a laser beam having a trapezoid-shape energy strength distribution by a special optical system such as a fly-eye lens 204. Subsequently, this laser beam is improved to a laser beam 208 having a rectangular-shape energy distribution by being passed through a convex lens 205 and a concave lens 206, and then, being passed through a mask 207 made of high-melting point metal, to thereby be irradiated to the silicon layer. Even if the improved beams are annealed in an overlapping manner, edge portions of the beams are not nonuniform. Thus, a uniform silicon layer with high quality can be formed over the entire substrate.

[Scope of claims]

[Claim 1]

A method of forming a silicon semiconductor layer, characterized by comprising the steps of:

forming a silicon layer on a substrate;  
irradiating a light beam with a short wavelength to the silicon layer a part of which is shielded against light by a shielding plate;  
irradiating the beam to the silicon layer plural times; and  
overlapping irradiation surfaces of the respective beams on the silicon layer.

[Claim 2]

A method of forming a silicon semiconductor layer according to claim 1, characterized in that the light beam with a short wavelength is pulsed light.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Industrial Application]

The present invention relates to a structure of a semiconductor integrated circuit, an SOI, an active matrix type thin film transistor, and a three-dimensional element.

[0002]

[Prior Art]

Up to now, a semiconductor thin film on a single crystal insulating substrate is known to have the following advantages in comparison with a bulk semiconductor as seen in an SOS (silicon on sapphire).

[0003]

(1) When the semiconductor thin film is cut into an island shape or is subjected to dielectric separation, the separation between elements can be conducted easily and reliably. (2) A P-N junction area is made small, whereby a stray capacitance can be made small.

[0004]

Further, the single crystal insulating substrate such as sapphire is expensive. Thus, instead of this, there is proposed a method of forming a semiconductor thin film on an amorphous  $\text{SiO}_2$  film formed by oxidizing a molten crystal plate or Si substrate at a temperature of  $1000^\circ\text{C}$  or higher, an amorphous  $\text{SiO}_2$  film deposited on the Si substrate, or an amorphous SiN film. However, since the  $\text{SiO}_2$  film or SiN film is not a single crystal film, when a silicon layer is formed to cover the film and crystallization is conducted thereto at a temperature of  $1000^\circ\text{C}$  or higher, polycrystal grows on the substrate. The grain size of the polycrystal is several tens of nm. Even if a MOS transistor is formed thereon, the carrier mobility is approximately one-severalth as large as that of the MOS transistor on the bulk silicon.

[0005]

The MOS transistor on an inexpensive glass substrate having a distortion temperature of  $850^\circ\text{C}$  or lower, which is used for an active matrix substrate of a liquid crystal display body, cannot apply a process performed at  $1000^\circ\text{C}$  or higher, and thus, the grain size of the polycrystal is at most several nm even if a silicon layer is deposited by a reduced pressure chemical vapor deposition method. Therefore, even if the MOS transistor is formed on the silicon layer, the carrier mobility is approximately one-several tens as large as that of the MOS transistor on the bulk silicon.

[0006]

Therefore, a method is examined recently in which a silicon thin film is scanned with a laser beam, an electron beam, or the like, and melting and resolidification of the thin film is conducted, whereby the crystal grain size is increased to conduct single crystallization or polycrystallization. In accordance with this method, a silicon single crystal phase with high quality or polycrystal with high quality can be formed on the insulating substrate, and the characteristic of the element formed using the silicon single crystal phase or polycrystal

is also enhanced and improved to approximately the same level of the characteristic of the element formed on the bulk silicon. Further, in this method, the element can be laminated, and what is called a three-dimensional IC can be realized. Also, a circuit having features such as high density, high speed, and multifunction can be obtained.

[0007]

As an example in which a high-quality silicon layer is formed using a laser beam to thereby manufacture a thin film transistor is given Extended Abstracts of the 22nd (1990 International) Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 1990, pp. 967-970 "XeCl Excimer Laser-Induced Amorphization and Crystallization of Silicon Films".

[0008]

[Problems to be solved by the Invention]

However, it is difficult that crystallization is conducted uniformly to a silicon layer over the entire substrate by irradiation of a laser beam. In order to obtain a high-quality silicon layer, which is formed by a PECVD method or a reduced pressure chemical vapor deposition method, by using the laser beam, appropriate energy is required. As in the above-described conventional example, in case of an amorphous silicon layer containing hydrogen obtained by decomposing monosilane by a glow discharge, a polycrystalline silicon film with a large grain size can be formed with the appropriate beam energy. However, if energy is smaller than the above-mentioned energy, a microcrystalline silicon layer is formed.

[0009]

In an excimer laser used in the above-described conventional example, the energy distribution of the beam with respect to a section perpendicular to a travelling direction of the beam exhibits a pseudo Gaussian distribution as shown in Fig. 4, and the beam does not always have a constant energy distribution. Thus, a portion of the silicon layer with a large grain size and a portion of the microcrystalline

silicon layer are formed depending on the energy strength of the beam, and a silicon layer with uniform quality can not be obtained. In the conventional example, in order to obtain a uniform polycrystalline silicon layer over a large surface area, a method of annealing while shifting the position of a laser beam with a minute interval has been attempted. However, this method has a fault with very low efficiency since the silicon layer at the same spot has to be irradiated several tens of times. In addition, this method has a fault in that the surface of the silicon layer becomes rough or the damage occurs in the thin film which is attached and covered with the silicon layer since the laser beam with energy having larger strength than that of the energy for obtaining the silicon layer having inherently a large grain size.

[0010]

On the other hand, such an attempt has been conducted in which a special optical system is provided between an oscillation source of a laser beam and a silicon layer as a sample to thereby uniform a beam energy distribution.

[0011]

However, the result of the improvement of the beam strength distribution by the special optical system is that uniformity is not seen over the entire beam, and nonuniformity is still observed at the edge of the beam. In the portion where the energy strength is insufficient, in case of the silicon layer formed by PECVD, the microcrystalline silicon layer is obtained in the portion where the beam energy strength is insufficient, and then even if irradiated with energy necessary for forming the silicon layer having grains with a large grain size from the initial silicon layer, the microcrystalline silicon layer does not change in a microcrystalline state. Therefore, the energy beam having a nonuniform energy strength distribution as in the conventional example has a fault in that a silicon layer having a wider surface area than that of a pulse laser beam can not be made to have uniform high quality

by irradiation of the pulse laser.

[0012]

[Means for solving the Problems]

The present invention has been made in view of the above-described problems, and there is provided a method of forming a silicon semiconductor layer in which a silicon layer having a wider surface area than that of a pulse laser beam is made to have uniform high quality by irradiation of the pulse laser.

[0013]

[Embodiment]

Hereinafter, an embodiment will be described in detail with reference to the accompanying drawings.

[0014]

The embodiment is shown in Fig. 1

[0015]

First, as shown in Fig. 1(a), on a transparent insulating substrate 101, a silicon dioxide film 102 formed by an electron cyclotron resonance sputtering method is formed with a thickness of 200 nm. Instead of the silicon dioxide film, an insulating film made of SiNx, SiON, PSG, or the like may be used.

[0016]

Next, an amorphous silicon layer 103 with a thickness of 50 nm is formed at a temperature of 550°C by a reduced pressure chemical vapor deposition method, for example. As described above, the silicon layer formed by the reduced pressure chemical vapor deposition method has a hydrogen content of 1% or less in atom ratio.

[0017]

Then, as shown in Fig. 1(b), a surface of the silicon layer 103 is irradiated with a laser beam 104. The laser beam is of an XeCl excimer laser, and has a wavelength of 308 nm. With respect to the amorphous silicon layer, the wavelength of 308 nm has an absorption coefficient

of  $10^6 \text{ cm}^{-1}$ , which is large, and thus, most of the laser beam energy is absorbed into the silicon layer. The laser beam conditions are a half width of 50 ns and an energy density of 200 to 400  $\text{mJcm}^{-2}$ . The geometrical size of the beam on an irradiation surface is a square with one side being 10 mm in length. The geometrical size of the beam can be changed as the occasion demands.

[0018]

Subsequently, the improvement of the energy distribution of the laser beam 104 is described with reference to the drawing. The energy distribution of a laser beam 202 emitted from a laser source 201 shown in Fig. 2 exhibits a pseudo Gaussian distribution as shown in Fig. 2. The laser beam 202 passes through an attenuator 203 and a special optical lens 204 such as a fly-eye lens. The attenuator 203 attenuates the laser beam energy as the need arises. By using the special optical lens 204, the energy distribution of the laser beam is improved from the pseudo Gaussian distribution to the pseudo trapezoid-shape energy distribution in which the energy density has a constant peak  $E_{\text{MAX}}$  shown in Fig. 3(a). Then, the laser beam the energy distribution of which is improved to have the pseudo trapezoid-shape is passed through a convex lens 205. Then, the laser beam that has passed through the convex lens 205 is passed through a concave lens 206. The distance between the convex lens 205 and the concave lens 206 is changed, thereby being capable of changing the size of the beam. Further, the laser beam that has passed through the concave lens 206 becomes parallel light. The laser beam that has passed through the concave lens 206 is passed through a mask 207. A material of a substrate of the mask 207 is high-quality quartz. As shown in Fig. 4, a pictorial portion 401 of the mask which blocks laser light is comprised of a high-melting point metal such as tungsten. Alternatively, there may be used a metal thin film having a large reflection coefficient with respect to the light with a wavelength of 308 nm. The laser beam passes through the mask 207, whereby a laser

beam 208 can be obtained which has its extremely steep edge and which has the rectangular energy distribution in which the energy density of the portion other than the edge is uniform.

[0019]

An atmosphere in the periphery of the silicon layer 103 at the time of beam annealing of the silicon layer 103 is a vacuum, an inert gas atmosphere, a nitrogen atmosphere, or an atmospheric air.

[0020]

Further, the strength of the laser beam 104 can be appropriately adjusted by changing the distance among the attenuator 203, the convex lens 205, and the concave lens 206.

[0021]

As shown in Fig. 2, a substrate 209 on which the silicon layer 103 is formed is mounted on a stage 210. While the stage 210 connected with a driving system 211 installed perpendicularly or obliquely to a travelling direction of a beam is controlled by a computer 212 that controls a laser oscillation frequency of the laser source 201, a timing for sending the laser, and an operation of the driving system, an irradiation position of a pulse beam can be changed.

[0022]

In the case where the silicon layer 103 having a wider surface area than the geometrical size of the laser beam 104 is annealed, the pulse beam has to be irradiated to the surface of the silicon layer plural times while the irradiation position is changed.

[0023]

Fig. 6 shows a state of crystallization of a silicon layer in the case where the irradiation position is changed.

[0024]

Fig. 6(a) shows an example in which annealing is conducted to the silicon layer while changing the irradiation position of the laser beam that is made to pass through the special optical lens 204, the convex



lens 205, and the concave lens 206, but not to pass through the mask 207. The laser beam has the trapezoid-shape energy distribution as shown in Fig. 3(a).

[0025]

Fig. 3(b) shows the state of the silicon layer in the case where the pulse beam having the trapezoid-shape energy distribution is irradiated. As shown in Fig. 3(a), in the case where an energy density  $E$  of the pulse laser is in a range of  $0 \leq E \leq E_1$ , the silicon layer 103 does not change. In the case where the energy density  $E$  of the pulse laser is in a range of  $E_2 \leq E \leq E_3$ , the silicon layer 103 is changed into a high-quality polycrystalline silicon layer 301 having crystals with a large grain size. In the case where the energy density  $E$  of the pulse laser is in a range of  $E_1 \leq E \leq E_2$ , the silicon layer 103 is changed into a silicon layer 302 having microcrystalline grains. Further, in the case where the energy density  $E$  of the pulse laser is in a range of  $E_3 \leq E$ , that is, the case where the energy density is too large, the silicon layer is changed into an amorphous silicon layer. Fig. 3(b) shows the case where the maximum energy density  $E_{MAX}$  of the pulse laser is smaller than  $E_3$ . As shown in Fig. 3(b), a polycrystalline silicon layer is formed in the center portion 301 of the portion to which the beam is irradiated, and a silicon layer having microcrystalline grains is formed in the peripheral portion 302.

[0026]

Next, as shown in Fig. 6(a), the irradiation position is changed, and the second irradiation of the pulse beam is conducted so as to form a portion 603 that overlaps the portion of the first irradiation. If the maximum energy  $E_{MAX}$  of the pulse beam is the same between the first-time pulse beam and the second-time pulse beam, a region 601 and a region 602 of the silicon layer are in the same crystalline state. Further, in case of the above-described amorphous silicon layer with a little hydrogen content which is formed by a reduced pressure chemical vapor

deposition method or the like, the crystal in the same state can be obtained irrespective of the number of times of the irradiation of the pulse laser beam 104. Therefore, the region 601, the region 602 and the region 603 of the silicon layer are in the same crystalline state. However, even if the laser beam with the energy  $E$  in the above-mentioned range of  $E_2 \leq E \leq E_3$  is irradiated to the silicon layer having microcrystalline grains in the peripheral portion 302, the silicon layer having microcrystalline grains does not change as it is. Further, even if the pulse laser with the energy  $E$  in the range of the above-mentioned range of  $E_1 \leq E \leq E_2$  is irradiated to the polycrystalline silicon layer in the center portion 301, no change is recognized. In Fig. 6(a), an irradiation region in which the energy of the pulse beam in the first time and in the second time is in the range of  $E_1 \leq E \leq E_2$  is indicated by reference numeral 604.

[0027]

Accordingly, when the silicon layer is annealed with the pulse beam having the energy distribution in Fig. 3(a) while changing the irradiation position, a region 606 of the silicon layer having microcrystalline grains is formed as shown in Fig. 6(b) based on the above-described reason.

[0028]

That is, when the pulse beam with the trapezoid-shape energy distribution or the shape similar thereto which has the energy of  $E_1 \leq E \leq E_2$  as shown in Fig. 3(a) is irradiated to the silicon layer 103 plural times while changing the irradiation position, the silicon layer in the nonuniform crystalline state is formed. The characteristic of the thin film transistor made of the thus formed silicon layer in the nonuniform crystalline state has a nonuniform distribution in the entire substrate.

[0029]

Fig. 6(b) is a schematic diagram of the distribution of the

crystalline state of the silicon layer in the case where the irradiation is conducted as in Fig. 6(a). A region 605 of the high-quality silicon layer having grains with a large grain-size and the silicon layer 606 having microcrystalline grains are formed.

[0030]

An example of Fig. 7 shows the state of the silicon layer in the case where the laser beam energy distribution is improved in accordance with the above-described method. The silicon layer 103 is changed into a polycrystalline silicon layer 701 by the first irradiation of the pulse beam. Then, the irradiation position is changed, and the second-time pulse beam is irradiated so as to form a portion 703 that overlaps the portion of the first irradiation. If the energy is the same between the first-time pulse beam and the second-time pulse beam, the region 701 and a region 702 of the silicon layer have the same crystalline state.

[0031]

Further, in case of the above-described amorphous silicon layer with a little hydrogen content which is formed by a reduced pressure chemical vapor deposition method or the like, the crystal in the same state can be obtained irrespective of the number of times of the irradiation of the pulse laser beam 104. Therefore, the crystalline state in the region 703 shown in Fig. 7(a) is the same as that in the region 701 and in the region 702. Further, due to the laser beam with the rectangular energy distribution as described above, microcrystalline grains are not formed at a boundary 704, and thus, there is formed a uniform polycrystalline silicon layer with substantially no boundary state among the region 701, the region 702, and the region 703. Fig. 7(b) is a schematic diagram of the distribution of the crystalline state of the silicon layer in the case where the irradiation is conducted as in Fig. 7(a). Only a region 705 of a high-quality silicon layer having grains with a large-grain size is formed, and a silicon layer having

microcrystalline grains is not formed. Therefore, when the silicon layer 103 over the entire substrate is annealed with the pulse beam with appropriate energy having the rectangular energy distribution shown in Fig. 5 so as to form overlapping portions of the respective pulse beams while changing the irradiation position, there can be obtained a uniform high-quality silicon layer 105 having large crystal grains over the entire substrate as shown in Fig. 1(C). Accordingly, the laser beam 208, namely, the laser beam 104 is irradiated to the silicon layer 103, whereby the uniform polycrystalline silicon layer 105 can be obtained over the entire substrate. Thus, there can be manufactured a thin film transistor with high mobility and high performance which has a uniform characteristic over the entire substrate.

[0032]

The crystallization of the silicon layer formed by the reduced pressure chemical vapor deposition method is described in the above-described embodiment. However, even the silicon layer formed by PECVD has a hydrogen content of 1% or less after being subjected to annealing in a nitrogen atmosphere at 450°C for 60 minutes. Thus, the present invention can also be applied to the silicon layer formed by PECVD. Of course, the present invention can also be applied to the silicon layer formed by a sputtering method.

[0033]

In the above-described embodiment, the crystallization of the silicon layer is described. However, the present invention is not limited to the above-described embodiment, and can also be applied to the case where a thin film, a substrate, or the like is uniformly modified over a large area by using a pulse laser beam.

[0034]

[Effects of the Invention]

As described above, according to the present invention, the silicon layer having a wider surface area than the geometrical shape of the

laser beam can be crystallized uniformly, whereby the high-quality silicon layer with the large crystal grain size can be uniformly formed over the large-surface area substrate by the irradiation of the laser beam. Therefore, the thin film transistor with high mobility and high performance can be formed over the entire substrate by conducting laser annealing at a room temperature. Thus, the active matrix type plane display body with a driver circuit incorporated therein can be manufactured on the substrate made of not quartz but glass. As a result, the plane display body can be formed on not the expensive quartz substrate but the inexpensive glass substrate, whereby the cost of the plane display body is lowered.

[0035]

Further, the silicon layer can be improved to have high quality by the pulse excimer layer with a wavelength having a large absorption coefficient to the silicon layer. Thus, a three-dimensional semiconductor integrated circuit can also be formed.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] A process drawing of an embodiment in which a silicon semiconductor layer is formed according to the present invention.

[Fig. 2] A diagram of an optical system in accordance with a method in which an energy distribution of a pulse laser beam is improved to have a rectangular shape.

[Fig. 3] A diagram showing an energy strength distribution of a laser beam before improvement of the energy distribution and a change of a silicon layer with respect to the energy strength.

[Fig. 4] A diagram of a mask that improves the energy strength distribution of the pulse laser beam to have a rectangular shape according to the present invention.

[Fig. 5] A diagram showing the energy strength distribution of the improved pulse laser beam according to the present invention.

[Fig. 6] A diagram showing a change of a silicon layer in the case

where the pulse laser beam with the conventional energy strength distribution is irradiated plural times.

[Fig. 7] A diagram showing a change of a silicon layer in the case where the improved pulse laser beam according to the present invention is irradiated plural times.

[Description of Symbols]

- 101    Transparent insulating substrate
- 102    Silicon dioxide film
- 103    Silicon layer
- 104    Laser beam
- 105    Polycrystalline silicon layer
- 201    Laser source
- 202    Laser beam before improvement
- 203    Attenuator
- 204    Special optical lens
- 205    Convex lens
- 206    Concave lens
- 207    Mask
- 208    Laser beam with rectangular energy distribution

[Description of Figures]

FIG. 2

ENERGY

X-DIRECTION

FIG. 6

IRRADIATION REGION OF THE FIRST-TIME PULSE BEAM

IRRADIATION REGION OF THE SECOND-TIME PULSE BEAM

FIG. 7

IRRADIATION REGION OF THE FIRST-TIME PULSE BEAM

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-307727

(43) 公開日 平成4年(1992)10月29日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/20	9171-4M		
	21/268	B 8617-4M		
	29/784	9056-4M	H 0 1 L 29/ 78	3 1 1 F

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平3-71714

(22) 出願日 平成3年(1991)4月4日

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 橋爪 勉

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

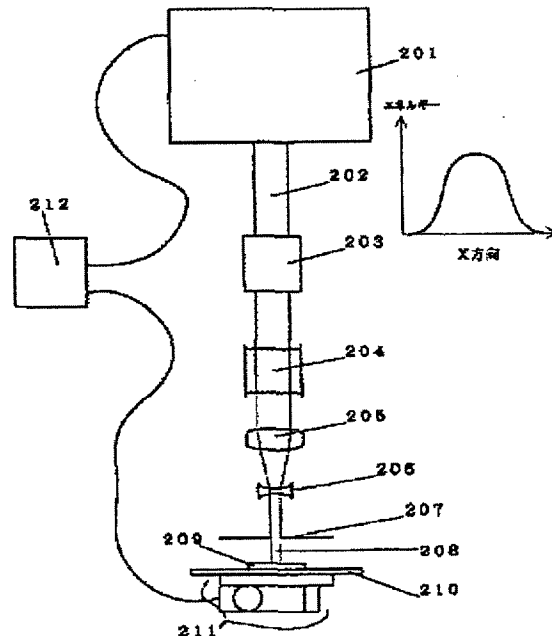
(74) 代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 シリコン半導体層の形成方法

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 レーザービームをシリコン層に照射する方法を工夫することによって基板全体に均一な多結晶シリコン層を形成する。

【構成】 水素の含有量が1%以下の非晶質なシリコン層をシリコン基板あるいは絶縁基板上に形成し、エネルギー強度分布を矩形状に改良したエキシマレーザーを照射する。レーザー源201から発信したエネルギー強度が疑似的にガウス分布しているレーザービームをフライアイレンズ204などの特殊な光学系により台形上のエネルギー強度分布のレーザービームに改良し、次にこのレーザービームを凸レンズ205と凹レンズ206に通し、次に高融点金属でできたマスク207を通して、矩形上のエネルギー分布を有するレーザービーム208に改良してシリコン層に照射する。この改良されたビームを重ね合わせてアニールしても、ビームの縁部分も不均一にならないで、基板全体にわたって均一な高品質なシリコン層を形成することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板にシリコン層を形成する工程と、該シリコン層に遮蔽版によって一部分を遮った短波長の光線のビームを照射する工程と、該シリコン層に該ビームを複数回照射する工程と、各々の該ビームの該シリコン層での照射面が重なる工程を有することを特徴とするシリコン半導体層の形成方法。

【請求項2】 前記請求項1において、該短波長の光線のビームがパルス光であることを特徴とする請求項1記載のシリコン半導体層の形成方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体集積回路、SOI、アクティブマトリックス型方式の薄膜トランジスタ、3次元素子の構成に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、単結晶絶縁基板上の半導体薄膜は、SOS（サファイア上のシリコン）にみられるようにバルク半導体に比べ、次のような利点を有することが知られている。

【0003】 ①島状に切断あるいは誘電体分離をするとき、素子間の分離を容易かつ確実にできる。②P-N接合面積を小さくすることにより、浮遊容量を小さくできる。

【0004】 また、サファイア等の単結晶絶縁基板が高価であることから、これに代わるものとして、熔融水晶板や、Si基板を1000℃以上温度で酸化して形成した非晶質SiO<sub>2</sub>：膜やSi基板上に堆積した非晶質SiO<sub>2</sub>：膜あるいは非晶質Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜を用い、これらの上に半導体薄膜を形成する方法が提案されている。ところが、これらSiO<sub>2</sub>：膜やSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜は単結晶でないため、その上シリコン層を被着形成し1000℃以上の温度のプロセスで結晶化すると基板上には多結晶が成長する。この多結晶の粒径は数10nmであり、このうえにMOSTランジスタを形成しても、そのキャリア移動度はバルクシリコン上のMOSTランジスタの数分の1程度である。

【0005】 また、液晶表示体のアクティブマトリックス基板用に、歪点が850℃以下の安価なガラス基板上のMOSTランジスタでは、1000℃以上のプロセスを利用することが出来ないため、減圧化学気相成長法でシリコン層を堆積しても、多結晶の粒径は高々数nmであるため、この上にMOSTランジスタを形成しても、そのキャリア移動度は、バルクシリコン上のMOSTランジスタの数十分の1程度である。

【0006】 そこで最近、レーザービームや電子ビーム等をシリコン薄膜上に走査し、該薄膜の熔融再結晶を行うことにより、結晶粒径を増大させ単結晶化あるいは多結晶化する方法が検討されている。この方法によれば、絶縁基板上に高品質シリコン単結晶相を、または高品質

多結晶を形成でき、それを用いて作成した素子の特性も向上し、バルクシリコンに作成した素子の特性と同程度まで改善される。さらにこの方法では、素子を積層化することが可能となりいわゆる3次元ICの実現が可能となる。そして高密度、高速、多機能などの特徴を持つ回路が得られるようになる。

【0007】 レーザービームにより高品質なシリコン層を形成し薄膜トランジスタを製作した例として、Extended Abstracts of the 22nd (1990 International) Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 1990, pp. 967-970「XeCl Excimer Laser-Induced Amorphization and Crystallization of Silicon Films」が挙げられる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、レーザービームの照射によってシリコン層を基板全体にわたって均一に結晶化することは困難である。PECVD法あるいは減圧化学気相成長法などにより形成したシリコン層をレーザービームにより高品質なシリコン層を得るためには、ある適当なエネルギーが必要である。上記の従来例のように、モノシランをグロー放電により分解して形成した水素を含有する非晶質なシリコン層の場合には、ある適当なビームエネルギーであると、大粒径の多結晶シリコン膜を形成することができるが、そのエネルギーより少ないエネルギーであると、微結晶粒のシリコン層となってしまふ。

【0009】 上記従来例で使用しているエキシマレーザーでは、ビーム進行方向に対して垂直な断面についてのビームのエネルギー分布は図4に示すように疑似的なガウス分布をしており、必ずしも一定のエネルギー分布を有するビームではない。すると、ビームのエネルギー強度に応じて、大粒径のシリコン層や微結晶のシリコン層の部分が形成され、均一な品質のシリコン層を得ることができない。そこで従来例では、大面積にわたって均一な多結晶シリコン層を得るために、レーザービームを微細な間隔に位置をずらしながらアニールする方法を試みている。しかしながら、この方法では同一地点のシリコン層を数十回も照射しなければならないためたいへん効率が低い欠点があった。また、この方法では、本来、大粒径な粒子を有するシリコン層を得るためのエネルギーよりも大きな強度のレーザービームを照射するため、シリコン層の表面が粗くなったり、シリコン層が被着している薄膜に損傷が発生する欠点があった。

【0010】 また一方、特殊な光学系をレーザービームの発振源とサンプルであるシリコン層の間に設けて、ビームのエネルギー分布を均一化する試みが行われてき



た。

【0011】しかしながら、この特殊な光学系によるビーム強度分布の改良による結果は、ビーム全体に渡って均一になっていることなく、ビームの縁ではなお依然として不均一性が観測される。エネルギー強度が足りない部分では、PECVDにより形成されたシリコン層の場合、ビームのエネルギー強度が足りない部分では微結晶シリコン層となり、次にこの微結晶シリコン層に、初期のシリコン層から大粒径粒子を有するシリコン層を形成するために必要なエネルギーを照射しても、微結晶状態のままでは変化しない。したがって、従来のような不均一なエネルギー強度分布を有するエネルギービームでは、パルスレーザーの照射によって、パルスレーザーのビームよりも広い面積のシリコン層を均一に高品質化することができない欠点があった。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の問題を鑑み、パルスレーザーの照射によって、パルスレーザーのビームよりも広い面積のシリコン層を均一に高品質化するシリコン半導体層の形成方法を提供するものである。

#### 【0013】

【実施例】以下図面を参照して実施例を詳細に説明する。

#### 【0014】実施例を図1に示す。

【0015】まず、図1aに示したように透明絶縁基板101に、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法により形成された二酸化珪素膜102を200nmの厚さで形成する。該二酸化珪素膜の代わりにSiNx、SiON、PSGなどの絶縁膜でもよい。

【0016】次に、例えば、減圧化学気相成長法により550℃の温度で50nmの厚みで非晶質のシリコン層103を形成する。前記のように減圧化学気相成長法によるシリコン層は水素の含有量が原子数比で1%以下である。

【0017】次に、図1bに示すように、該シリコン層103の表面にレーザービーム104を照射する。該レーザービームはXeClエキシマレーザーであり、波長が308nmであるので、前記非晶質のシリコン層では308nmの吸収係数が $10^6 \text{ cm}^{-1}$ と大きいので、該レーザービームのエネルギーの大部分が該シリコン層に吸収される。レーザービームの条件は、半値幅が50nsであり、エネルギー密度が200~400mJ/cm<sup>2</sup>であり、ビームの照射面の幾何学的な大きさは一辺が10mmの正方形である。このビームの幾何学的な大きさが必要に応じて変更可能である。

【0018】つぎに、該レーザービーム104のエネルギー分布の改良について図に示しながら説明する。図2に示すレーザー源201から発射されたレーザービーム202のエネルギー分布は図2に示すように疑似的なガ

ウス分布をしている。該レーザービーム202はアッテネーター203と、例えばフライアイレンズのような特殊な光学レンズ204を通過する。該アッテネーター203でレーザービームのエネルギーを必要に応じて減衰させる。該特殊な光学レンズ204で、該レーザービームのエネルギー分布を、疑似的なガウス分布から図3aに示すようにエネルギー密度が一定のピークE<sub>max</sub>を持つ疑似台形状のエネルギー分布に改良する。次に、該エネルギー分布が疑似台形状に改良されたレーザービームを凸レンズ205に通過させる。次に、該凸レンズ205を通過したレーザービームを凹レンズ206に通過させる。次に該凸レンズ205と該凹レンズ206の距離を変更することによりビームの大きさを変えられる。また、該凹レンズ206を通過したレーザービームは平行光線となる。該凹レンズ206を通過したレーザービームを、マスク207に通過させる。該マスク207の基板の材質は良質の石英であり、図4に示すようにレーザー光を遮るマスクの描画部分401は、タングステンなどの高融点金属である。または波長308nmの光について反射係数の大きな金属薄膜であってもよい。該マスク207を通過することにより、図5に示すようにビームの縁が極めて急峻であり縁以外の部分のエネルギー密度が均一な矩形形状のエネルギー分布のレーザービーム208が得られる。

【0019】該シリコン層103をビームアニールする時の該シリコン層103周辺の雰囲気は、真空あるいは不活性ガス雰囲気、あるいは窒素雰囲気、あるいは大気の雰囲気である。

【0020】また、該レーザービーム104の強度は、該アッテネーター203と該凸レンズ205と該凹レンズ206の距離を変更することにより適宜調整することができる。

【0021】図2に示すように該シリコン層103が形成されている基板209をステージ210に載せて、ビームの進行方向に対して垂直または斜めに設置してある駆動系211を接続している該ステージ210を、該レーザー源201のレーザー発振周波数およびレーザーの発信するタイミングと該駆動系の動作をコントロールするコンピューター212によりコントロールしながらパルスビームの照射位置を変更できる。

【0022】該レーザービーム104の幾何学的大きさよりも広い面積の該シリコン層103をアニールする場合には、該シリコン層表面において照射位置を変えた複数回のパルスビームを照射しなければならない。

【0023】図6に照射位置を変えた場合のシリコン層の結晶化の様子を示す。

【0024】図6aの例は、該特殊な光学レンズ204と該凸レンズ205と該凹レンズ206を通過させるが該マスク207を通過させないレーザービームを照射位置を変えてシリコン層をアニールした場合の例を示す。

このレーザービームは図3 aに示すような台形状のエネルギー分布を有する。

【0025】図3 bに該台形状のエネルギー分布を有するパルスビームを照射した場合のシリコン層の様子を示す。図3 aに示すように、パルスレーザーのエネルギー密度 $E$ が $0 \leq E \leq E_1$ の範囲では、該シリコン層103は変化しない。該パルスレーザーのエネルギー密度 $E$ が $E_1 \leq E \leq E_2$ の範囲にある場合には該シリコン層103は大粒径の結晶を有する良質な多結晶シリコン層301に変化する。また該パルスレーザーのエネルギー密度 $E$ が $E_2 \leq E \leq E_3$ の範囲にある場合には該シリコン層103は微結晶粒子を有するシリコン層302に変化する。また、該パルスレーザーのエネルギー密度 $E$ が $E_3 \leq E$ の範囲にある場合には、エネルギー密度が大きすぎる場合であり、該シリコン層は非晶質なシリコン層に変化する。そこで図3 bには、パルスレーザーの最大のエネルギー密度 $E_{max}$ が $E_3$ よりも小さい場合を示した。図3 bに示したようにビームが照射された部分のうち中心部301には多結晶シリコン層が形成されるが、周辺部302は微結晶粒子を有するシリコン層が形成される。

【0026】次に、図6 aに示すように照射位置を変えて、1回目の照射部分と重なる部分603を形成するように、2回目のパルスビームを照射する。1回目のパルスビームと2回目のパルスビームの最大エネルギー $E_{max}$ エネルギーが等しければ、領域601と領域602のシリコン層は同じ結晶状態である。また、上記のように減圧化学気相成長法などによる水素の含有量が少ない非晶質のシリコン層の場合には、該レーザービーム104の照射するパルスビームの回数にかかわらず同じ状態の結晶が得られる。したがって、領域601および領域602および領域603のシリコン層は同じ結晶状態である。ところが周辺部302の微結晶粒子を有するシリコン層に、上記の $E_1 \leq E \leq E_2$ の範囲にあるエネルギー $E$ のレーザービームを照射しても、微結晶粒子を有するシリコン層のままで変化しない。また、上記の $E_1 \leq E \leq E_2$ の範囲にあるエネルギーのパルスレーザーを中心部301の多結晶シリコン層に照射しても、変化は認められない。図6 aにおいて1回目と2回目のパルスビームのエネルギーが $E_1 \leq E \leq E_2$ の照射領域を604と示した。

【0027】したがって、図3 aのエネルギー分布を有するパルスビームを照射位置を変えてシリコン層をアニールすると上記に示した理由で図6 bに示すように微結晶粒子を有するシリコン層の領域606が形成される。

【0028】すなわち、図3 aに示すような $E_1 \leq E \leq E_2$ のエネルギーを有する台形状のあるいはそれに類似のエネルギー分布のパルスビームを照射位置を変えて該シリコン層103に複数回照射すると、結晶状態が不均一なシリコン層が形成され、このように形成された不均

一な結晶状態のシリコン層を材料にした薄膜トランジスタの特性は基板全体で不均一な分布となってしまう。

【0029】図6 aの様に照射された場合のシリコン層の結晶状態の分布の模式図を図6 bに示す。大粒径の粒子を有する良質なシリコン層の領域605と微結晶粒子を有するシリコン層606が形成される。

【0030】図7の例は、レーザービームのエネルギー分布を上記の方法により改良した場合のシリコン層の様子を示す。1回目のパルスビームの照射により該シリコン層103は多結晶シリコン層701に変化する。次に照射位置を変えて、1回目の照射部分と重なる部分703を形成するように、2回目のパルスビームを照射する。1回目のパルスビームと2回目のパルスビームのエネルギーが等しければ、701と領域702のシリコン層は同じ結晶状態である。

【0031】また、上記のように減圧化学気相成長法などによる水素の含有量が少ない非晶質のシリコン層の場合には、該レーザービーム104の照射するパルスの回数にかかわらず同じ状態の結晶が得られる。したがって、図7 aに示す領域703の結晶状態は領域701および領域702と同じである。さらに、前述のように矩形型のエネルギー分布を持つレーザービームのため境界704には微結晶粒子が形成されないため実質的に領域701と領域702と領域703の間には境界状態のない均一な多結晶シリコン層が形成される。図7 aの様に照射された場合のシリコン層の結晶状態の分布の模式図を図7 bに示す。大粒径の粒子を有する良質なシリコン層の領域705のみが形成され、微結晶粒子を有するシリコン層は形成されない。したがって、図5に示す矩形型のエネルギー分布を有する、適度なエネルギーのパルスビームで、照射位置を変えて個々のパルスビームが重なり部分を形成するように基板全体の該シリコン層103をアニールすると、図1 cに示すように、基板全体に渡って均一な大きな結晶粒を有する良質なシリコン層105を得ることができる。したがって、該レーザービーム208すなわち該レーザービーム104を該シリコン層103に照射することによって、基板全体に渡って均一な多結晶シリコン層105が得られ、これによって、基板全体に渡って均一な特性を有する移動度が高い高性能な薄膜トランジスタを製造することができる。

【0032】上記の実施例は減圧化学気相成長法によって形成されたシリコン層の結晶化について説明したが、PECVDによって形成されたシリコン層でも、450℃で窒素雰囲気中で60分のアニールを施すと水素の含有量が1%以下になるので、PECVDによって形成されたシリコン層でも本発明は適用できる。無論スパッタ法により形成されたシリコン層でも本発明は適用できる。

【0033】上記の実施例は、シリコン層の結晶化について説明したが、上記の実施例に限らず、パルスレーザービームにより薄膜あるいは基体などを大面積に渡って

均一に改質する場合でも本発明は適用できる。

#### 【0034】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、レーザービームの幾何学的形状よりも広い面積のシリコン層を均一に結晶化することができるので、大面積の基板上にレーザービームの照射によって結晶粒径の大きな良質なシリコン層を均一に形成することができる。したがって、基板全面に移動度の高い高性能の薄膜トランジスタを室温のレーザーアニールにより基板全面に形成することができるので、駆動回路を内蔵したアクティブマトリックス方式の平面表示体を、石英ではなくガラス基板に製造することができる。この結果、平面表示体のコストは、基板に効果な石英基板でなく安価なガラス基板に形成することができるので、平面表示体のコストが安価になる。

【0035】また、シリコン層の吸収係数が大きな波長を有するパルスエキシマレーザーによりシリコン層を良質化できるので、3次元半導体集積回路を形成することもできる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のシリコン半導体層を形成する実施例の工程図である。

【図2】本発明の、パルスレーザービームのエネルギー分布を矩形状に改良する光学系の図である。

【図3】エネルギーの分布を改良する前のレーザービームのエネルギー強度分布と、エネルギー強度に対するシ

リコン層の変化を示す図である。

【図4】本発明の、パルスレーザービームのエネルギー強度分布を矩形状に改良するためのマスクの図である。

【図5】本発明により、改良されたパルスレーザービームのエネルギー強度分布を示す図である。

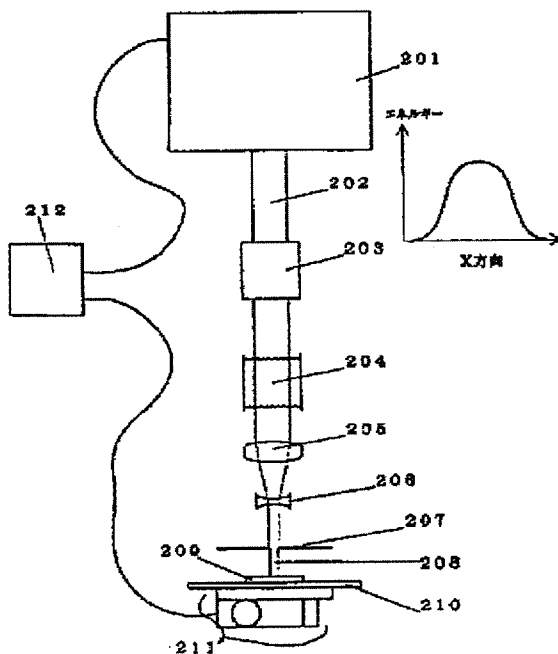
【図6】従来のエネルギー強度分布を有するパルスレーザービームを複数回照射した場合のシリコン層の変化を示す図である。

【図7】本発明により、改良されたパルスレーザービームを複数回照射した場合のシリコン層の変化を示す図である。

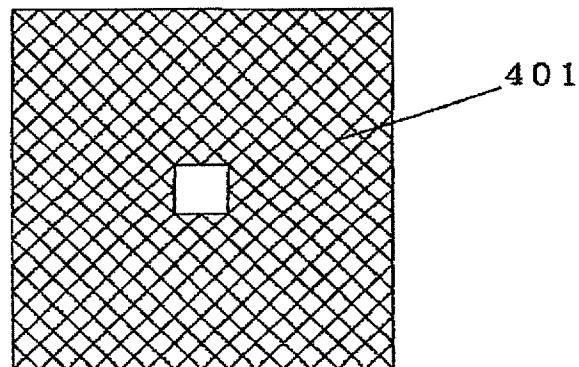
#### 【符号の説明】

- 101 透明絶縁基板
- 102 二酸化珪素膜
- 103 シリコン層
- 104 レーザービーム
- 105 多結晶シリコン層
- 201 レーザー源
- 202 改良前のレーザービーム
- 203 アッテネーター
- 204 特殊な光学レンズ
- 205 凸レンズ
- 206 凹レンズ
- 207 マスク
- 208 矩形状のエネルギー分布のレーザービーム

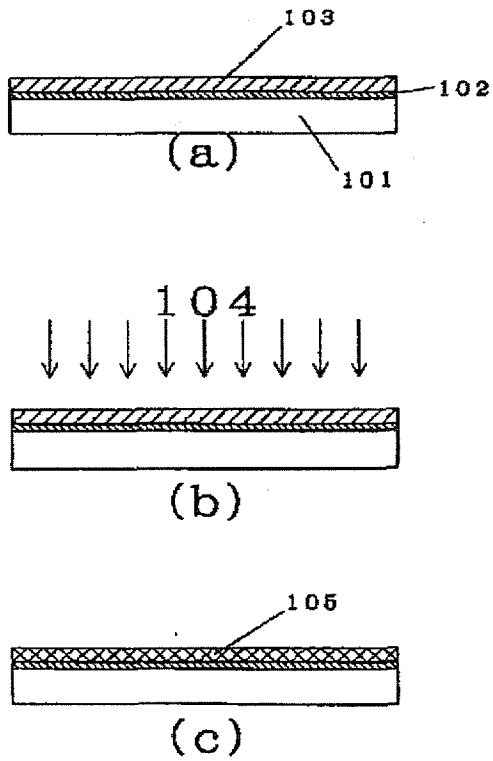
【図2】



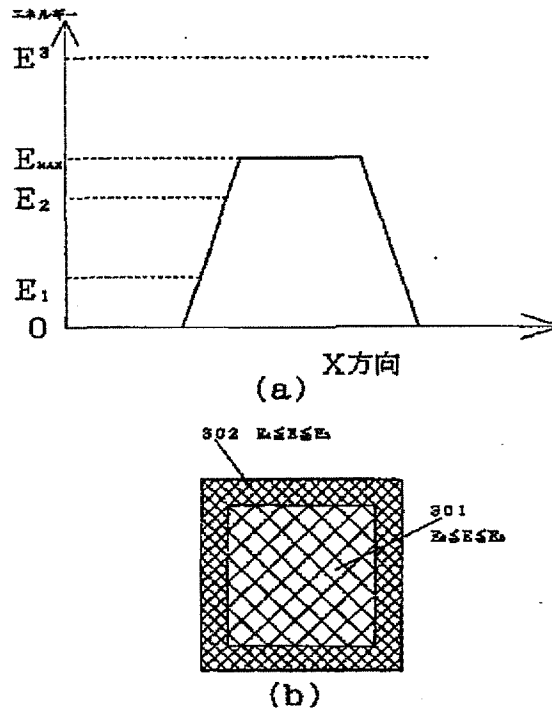
【図4】



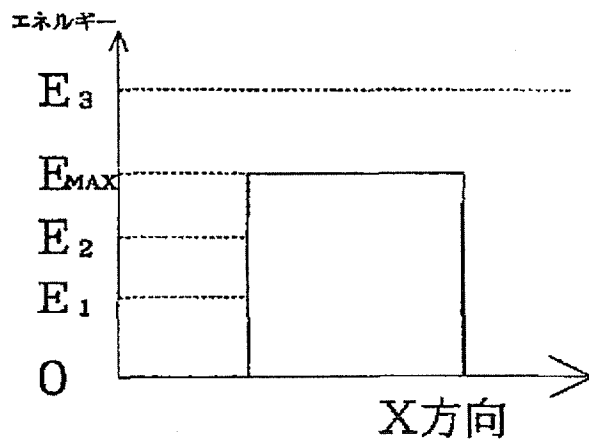
【図1】



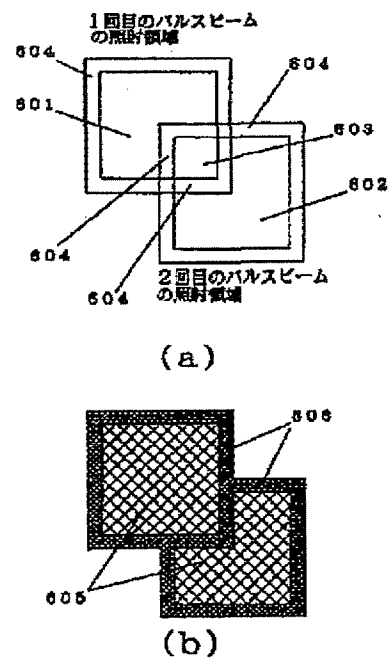
【図3】



【図5】



【図6】



(7)

特開平4-307727

【図7】

